

УДК 528.48

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ПОЛОЖЕННЯ ОСІ ОБЕРТАННЯ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ

О. Приступа<sup>1</sup>, І. Крутянков<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”<sup>2</sup>ВАТ “АрселорМиттал Кривий Ріг”

**Ключові слова:** обертова піч, вісь обертання, температура, тепловізор.

**Постановка проблеми**

Проблема контролю великогабаритного обладнання, зокрема обертових печей, надалі є актуальною. Це пов'язано з тим, що майже всі цементні заводи є приватною власністю. Увесь цемент і глинозем – сировина для виробництва алюмінію, вапна, міндобрив – проходить через обертові печі, які є агрегатами безперервної дії, тому непланове простоювання обертової печі спричиняє величезні збитки. Наприклад, одна година зупинки печі розміром 5×185 м – це втрата 80 тонн цементу. Стає зрозумілою важливість контролю великогабаритного технологічного обладнання під час його встановлення та роботи. Дієздатність великогабаритного обладнання, зокрема обертових печей, великою мірою залежить від точності їх встановлення. Доведено, що близько третини аварій пов'язано з відхиленням від прямолінійності осі обертання печі, яке визначають лише способами інженерної геодезії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми**

Вплив температури на положення осі обертання обертової печі під час контролю через перехід від статичного стану до динамічного розглянуто лише у нормативних джерелах [1, 2, 7]. У сучасних публікаціях вказується, що тепловізорами вимірюють температури на печах [3, 10–12], але питання врахування температурної поправки у вертикальне положення осі обертання не розглядалося.

**Постановка завдання**

Метою дослідження є довести, що через нерівномірне нагрівання деталей опорних вузлів та бандажів вертикальне положення осі обертання печі може змінюватися навіть до 10 мм за допуску на відхилення  $\pm 3$  мм. Отже, обов'язковим є врахування різної зміни температур під час переходу від холодної до гарячої печі.

**Виклад основного матеріалу**

Контроль і виправлення положення осі обертання печі виконується згідно з методиками [5–9] у холодному стані. Якби під час роботи всі вузли та деталі нагрівалися рівномірно, то положення осі обертання у вертикальній площині змінювалось би на якусь сталу (однакову) величину за рахунок розширення агрегату

під впливом температури, і вісь залишалася б прямолінійною після ремонту. Проте після запуску печі зміна температури корпусу із завантажувального та розвантажувального кінців є нелінійною. Зміна центрів підбандажних перерізів обичайок також змінюється непропорційно до збільшення відстані до холодного краю печі. У зв'язку з переліченими факторами під час роботи виникає викривлення осі обертання печі, яка під час ремонту була встановлена прямолінійно.

На рис. 1 [2] всі деталі обертової печі у холодному стані зображено суцільними лініями, а у гарячому – пунктиром.

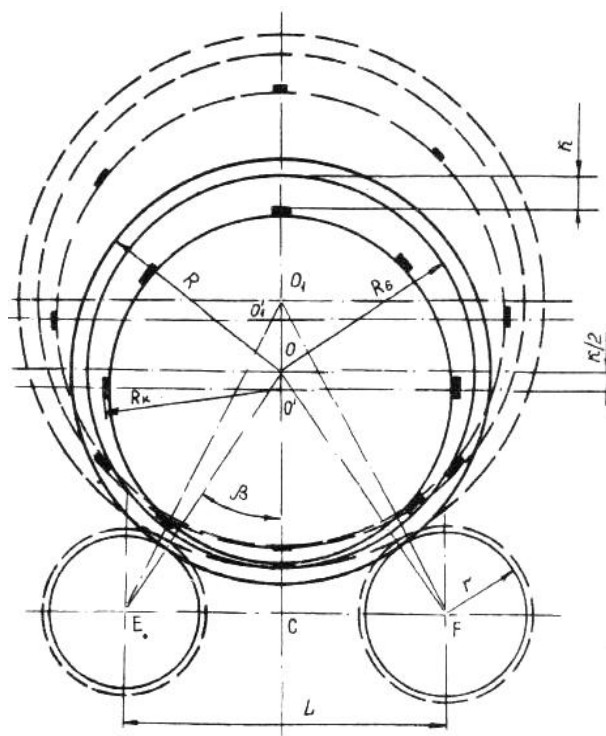


Рис. 1. Схема визначення зміни центра поперечного перерізу підбандажної обичайки, зумовленого нагріванням печі

Величину зміни положення осі обертання бандажа  $OO_1$  (рис. 1) у вертикальній площині під час нагрівання печі можна визначити так:

$$OO_1 = O_1C - OC, \quad (1)$$

$$O_1C =$$

$$= \sqrt{\{[(R+r) + \alpha [R(t_1 - t_{n1}) + r(t_2 - t_{n2})]]\}^2 - (\frac{L}{2})^2} \quad (2)$$

$$OC = \sqrt{(R+r)^2 - (\frac{L}{2})^2}. \quad (3)$$

Тоді

$$OO_1 = \sqrt{\{[(R+r)+\alpha[R(t_1-t_{n1})+r(t_2-t_{n2})]]^2 - (\frac{L}{2})^2 - (R+r)^2 - (\frac{L}{2})^2\}} \quad (4)$$

Значення зміни положення осі корпусу у вертикальній площині визначається за формулою:

$$O'O_1' = OO_1 + \alpha[R_k(t_3 - t_{n3}) - R_B(t_1 - t_{n1})]. \quad (5)$$

Тоді

$$O'O_1' = \sqrt{\{[(R+r)+\alpha[R(t_1-t_{n1})+r(t_2-t_{n2})]]^2 - (\frac{L}{2})^2 - (R+r)^2 - (\frac{L}{2})^2 + \alpha[R_k(t_3 - t_{n3}) - R_B(t_1 - t_{n1})]\}} \quad (6)$$

де  $R$ ,  $r$ ,  $R_k$  – радіуси бандажа, роликів і корпусу відповідно, виміряні під час контролю холодної печі;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  – середні температури відповідних вузлів печі у динаміці;  $t_{n1}$ ,  $t_{n2}$ ,  $t_{n3}$  – середні температури відповідних вузлів печі у холодному стані;  $R_B$  – внутрішній радіус бандажа під час контролю у статичі;  $L$  – відстань між осями роликів;  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення сталі ( $\alpha=11,5 \cdot 10^{-6}$ ).

У формулах не використано величину  $K$  підбандажних зазорів, тому що досліджувана піч має вварні бандажі.

Через складність вимірювань і громіздкість обчислень величини  $O'O_1'$  [1,2,7] виробничники не враховували ступінь впливу нерівномірності нагрівання печі на вертикальне положення осі обертання після статичного контролю, хоча він є істотним. Тепер це не становить жодних труднощів, оскільки є велика кількість програм для обчислень.

У рекомендованих методиках [7] використовували пристрої ВВД та кутомір АІЗ-50. Пристрої ВВД вимірював діаметри роликів та бандажів як в статичному, так і в динамічному станах печі, а кутомір вимірював кут  $\beta$  між лінією центрів бандажа і роликів у вертикальній площині (рис. 1). Знаючи кут  $\beta$  та нехтуючи температурним розширенням роликів і діаметральним зазором (досліджувана піч із вварними бандажами), величину  $O'O_1'$  можна визначити значно простіше:

$$O'O_1' = \Delta R \cos \beta, \quad (7)$$

де  $\Delta R = R_r - R_x$ .  $R_r$  – радіус бандажа в гарячому стані печі,  $R_x$  – радіус бандажа в холодному стані печі.

Якщо відсутні такі пристрої, тоді потрібно враховувати вплив нерівномірного температурного збіль-

шення діаметрів бандажів на прямолінійність осі обертання, вимірюючи температури бандажів та корпусу, вимірювання їх радіусів і діаметральних зазорів. Температури деталей вимірюють термометрами на магнітах під час малих обертів печі або пристроєм ДТВ. В описаних методиках складність і недоліки вимірювання очевидні. Електронними тахеометрами та тепловізорами всі вимірювання виконуються швидко, зручно та точно.

Експериментальні роботи виконували на п'яти-опорній обертовій пічці. Геометричні параметри печі вимірювали електронним тахеометром Leica TDRA6000 з точністю 0,2 мм (табл. 1), температури всіх деталей – тепловізором NEC TH 9100 WRI8.5 (рис. 2, 3), дані обробляли за допомогою програмного забезпечення Spatial Analyzer.

Нумерація опор вказана за ходом обпалюваного в печі матеріалу.

Щоб визначити зміни положення осі обертання бандажа  $OO_1$  й осі корпусу  $O'O_1'$  (рис. 1) у вертикальній площині через нерівномірність нагрівання різних деталей обертової печі, потрібно виміряти електронним тахеометром діаметри бандажів, роликів та корпусу, відстань між центрами опорних роликів. Ці вимірювання можна виконувати: методикою, яку розробив О. Присутупа [4] відносно довільних створів, або, як пропонує І. Крутянков, обробляти програмним забезпеченням Spatial Analyzer. Всі вимірювання діаметрів є лінійними і виконуються електронним тахеометром Leica TDRA6000 з точністю 0,2 мм з використанням відбивачів. Тепловізором вимірювали температури всіх потрібних деталей (рис. 2), за результатами вимірювань будували термограми на кожній опорі. Приклад однієї з них для п'ятої опори показано на рис. 3.

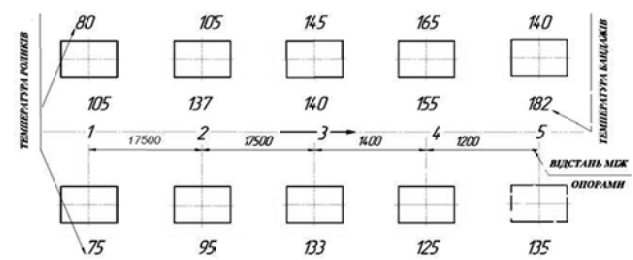
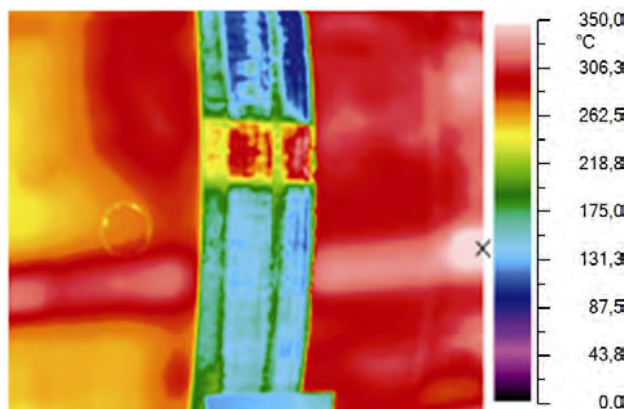
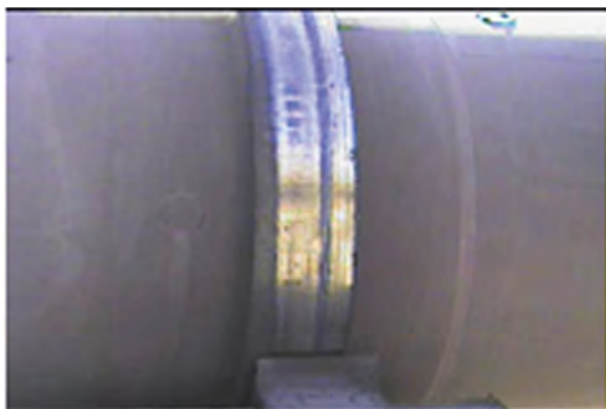


Рис. 2. Схема вимірювання температур на опорі

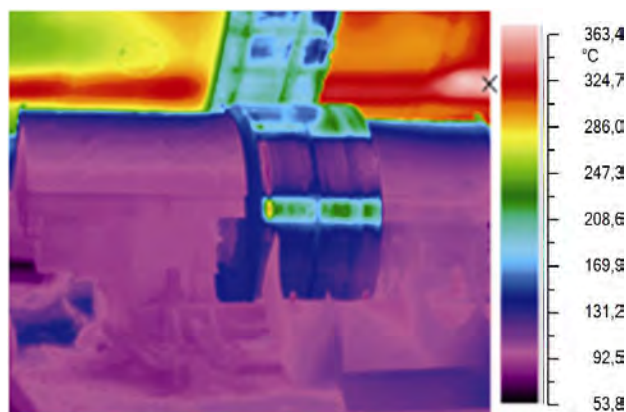
Таблиця 1

## Геометричні та температурні параметри обертової печі

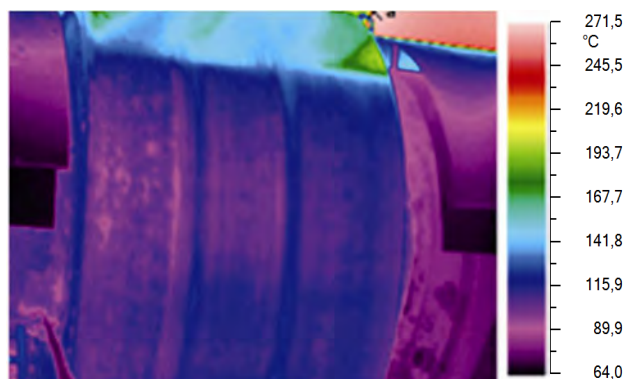
№ опори	Бандаж		Ролики				Корпус		Відстань між центрами опорних роликів, L, мм	Сер. темп. повітря, $t_n$ , °
	Радіус, мм	Сер. темп., $t_1$ , °	Радіус лівого, мм	Сер. темп., $t_1$ , °	Радіус правого, мм	Сер. темп., $t_1$ , °	Радіус, $R_k$ , мм	Сер. темп., $t_1$ , °		
1	2417	105	700	80	699	75	1900	166	3109	25
2	2419	137	707	105	737	95	1900	202	3066	25
3	2419	140	751	145	753	133	1900	254	3157	25
4	2423	155	740	165	742	125	1900	303	3100	25
5	2420	182	712	140	716	135	1900	328	3128	25



Опора № 5 – бандаж



Опора № 5 – лівий ролик



Опора № 5 – правий ролик

Рис. 3. Термограми для п'ятої опори

Використання тепловізора, крім простоти та зручності, точності вимірювання високих температур деталей великогабаритного обладнання, дає змогу за кольором термограми визначити, де відсутнє футерування всередині корпусу обертової печі. Перевагою є те, що не треба зупиняти піч і оглядати корпус зсередини. Місце, де немає футерування, матиме забарвлення, відмінне від більшої частини печі, а що найважливіше – підвищену температуру, отже, там потрібно її відновлювати.

Використавши програмне забезпечення Spatial Analyzer, ми опрацювали всі дані (табл. 1) і визначили величини змін осі обертання бандажу  $OO_1$  й осі корпусу  $O'O_1'$  у вертикальній площині через нерівномірність

нагрівання різних деталей обертової печі на п'яти опорах. За результатами розрахунків побудували графік зміни положення осі обертання обертової печі відносно прямолінійності, зумовленої різницею температур деталей (рис. 4). У Spatial Analyzer можна графічно зняти кут  $\beta$  між лінією центрів бандажу і роликів у вертикальній площині і розрахувати за простішою формулою (7).

З цього графіка, побудованого згідно з розрахунками за формулою (6), видно, що вплив нерівномірності нагрівання корпусу печі на прямолінійність її осі обертання є великим – найбільше значення відхилення на п'ятому бандажі і становить 11,2 мм за допуску на відхилення осі обертання від прямолінійності  $\pm 3$  мм.

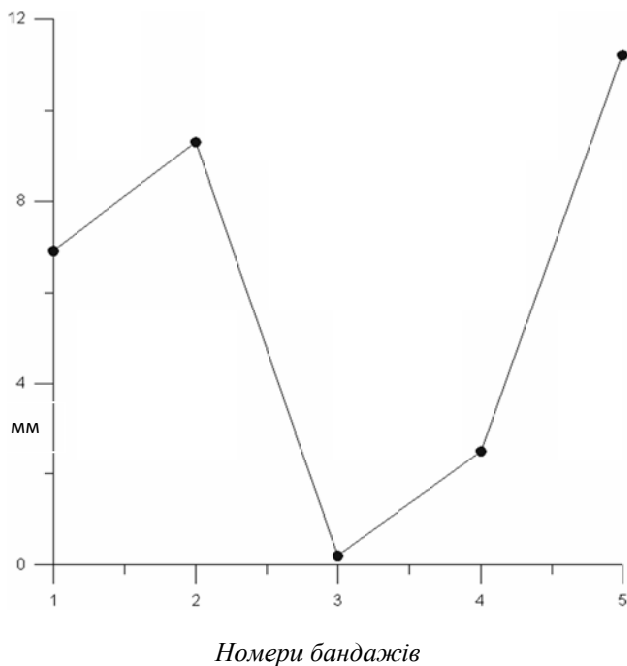


Рис. 4. Графік зміни положення осі обертання обертової печі відносно прямолінійності, зумовленої різницею температур деталей

### Висновки

Доведено, що вісь обертання печі змінює своє положення і відхиляється від прямолінійності після запуску печі через вплив нерівномірності нагрівання корпусу печі. Показано, що відхилення є суттєвими (max=11,2 мм за допуску  $\pm 3$  мм), тому необхідність їх врахування очевидна. Для цього під час контролю холодної печі потрібно врахувати на кожній опорі зміни положення осі обертання печі внаслідок нагрівання і його нерівномірності й відняти ці значення від положення центрів серединних поперечних перерізів підбандажних обичайок на кожній опорі. Отже, у динамічному стані вісь обертання підніметься на враховані значення і набуде правильного положення.

Сучасні електронні тахеометри і тепловізори, а також новітнє програмне забезпечення роблять вимірювання швидкими, точними, зручними і значно полегшують розрахунки.

### Література

1. Микольский Ю.Н. Выверка и центровка промышленного оборудования / Ю.Н. Микольский. – К.: Будівельник, 1970. – С. 189.
2. Микольский Ю.Н. Выверка и центровка промышленного оборудования / Микольский Ю.Н., Кравченко В.М. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – К.: Будівельник, 1979. – С. 188.
3. Могильный С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования / Могильный С., Шоломицкий А., Фролов И.
4. Приступа О. Визначення діаметрів бандажів обертових печей електронними тахеометрами /

О. Приступа, О. Мороз, Т. Шевченко // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – № 74. – С. 29–33.

5. Кубрак О.Д. Застосування створних вимірювань для визначення відхилень від прямолінійності осі обертання обертової печі / О.Д. Кубрак, Т.Г. Шевченко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – Вип. 1(15). – Львів. – С.175–179.

6. Патент 88124. Україна. МПК F27B7/22. Спосіб визначення відхилень від прямолінійності осі обертання обертової печі / Кузьо І.В., Мороз О.І., Шевченко Т.Г., Кубрак О.Д., Шевченко Г.Т./ №а 200815123; заявл. 29.12.2008; опубл.10.09.2009 р.; Бюл.№ 8.

7. Руководство по выверке технологического оборудования металлургической промышленности / [Шевченко Т.Г., Хропот С.Г., Пивоваров В.П. и др.]. под ред. Т.Г. Шевченко. – М.: Министерство металлургии СССР, 1991. – С.214.

8. Руководство по выверке технологического оборудования цементных заводов.– Новосибирск. – 1983. – С. 119.

9. Шевченко Т.Г. Контроль положения осі обертання обертової печі / Шевченко Т.Г., Кубрак О.Д. // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та лісовпорядкуванні. – Ужгород. – 2008. – С.66–70.

10. Выверка вращающихся печей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://promgeo.com/>

11. Контроль геометрических характеристик корпуса вращающейся печи при замене опорной или подбандажной обечайки [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <http://promgeo.com/>

12. ВАТ “АрселорМиттал Кривий Ріг”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arcelormittal.com.ua>

### Вплив температури на положення осі обертання обертової печі

О. Приступа, І. Крутянков

Доведено важливість врахування різної зміни температур під час переходу від холодного до гарячого стану печі, бо це істотно впливає на положення осі обертання печі.

### Влияние температуры на положение оси вращения вращающейся печи

Е. Приступа, И. Крутянков

Доказана важность учёта разных изменений температур при переходе от холодного к горячему состоянию печи, так как это существенно влияет на положение оси вращения печи.

### Effect of temperature on the position of the axis rotation of the rotary kiln

О. Prystupa, I. Krutyankov

It has been proved that it is important to consider different temperature changes during the transition from cold to hot kiln condition, as it has significant influence on the position of the axis of rotation of the kiln.